

Dinámica de sistemas para la selección de un sistema de pronóstico con base en el impacto de excesos y faltantes

System dynamics for selecting a forecasting system based on the impact of excesses and shortages

Carlos A. Pretel A.
carpretel@gmail.com

Oscar D. Galvis P.
oscar_galvis_91@hotmail.com

Laura I. Rendón S.
laurarendon08@gmail.com

Juan C. Osorio G.
juan.osorio@correounivalle.edu.co

Universidad del Valle, Cali - Colombia

Fecha de recepción: Enero 10 de 2013

Fecha de aceptación: Febrero 22 de 2013

Palabras clave

Pronósticos de demanda;
excesos; faltantes; demanda
creciente.

Keywords

WEEE; EEE; system dynamics;
integrated management.

Colciencias
tipo 1

Este documento se ha construido a partir de la ponencia del mismo nombre, presentada por los autores en el 10° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, organizado en de 2012 por la Universidad Icesi y la Universidad del Valle, bajo la temática: Dinámica de sistemas: Un enfoque de gestión y solución de problemas. El documento es inédito.

Resumen

En el presente artículo se estudia el efecto de los excesos y faltantes en una organización, específicamente en un producto cuya demanda es creciente. Para facilitar el análisis, se realizó un modelo de dinámica de sistemas, compuesto de dos diagramas que posteriormente se relacionan. En uno de los diagramas se pueden intercambiar datos de los pronósticos, y en el diagrama principal se pueden observar las relaciones que tiene la selección de dicho pronóstico con otros aspectos que hacen parte de la organización. Su finalidad es conocer el impacto que genera el uso de tres tipos de pronósticos sobre el inventario de producto terminado, el inventario de seguridad, el nivel de servicio y la utilidad marginal de una organización.

Abstract

This article studies the effect of the excesses and shortages in an organization, specifically in a product whose demand is growing. A system dynamics model was made through two diagrams two diagrams that are joined and related. In one of the diagrams is easy a sharing of forecast data, and in the main plot we can see the relations in the selection of a forecast with other components that are part of the organization. Based on all the relationships, we concluded about the impact of using three types of forecasts on finished goods inventory, safety stock, the level of service and the marginal utility of an organization.

I. Introducción

Para ser competentes en el mercado, las empresas necesitan simultáneamente mejorar el servicio al cliente y reducir sus costos. Una manera eficaz y eficiente de abordar este desafío es mediante la apropiada aplicación de un sistema de pronóstico que permita predecir, de manera precisa, la cantidad de productos que se deben fabricar para satisfacer la demanda y establecer un sistema de inventarios que garantice el nivel de servicio al cliente, para que de esta forma disminuya la cantidad de ventas perdidas.

Uno de los factores más importantes para el éxito de la planeación de la producción es que el sistema de pronósticos permita predecir en el tiempo la cantidad suficiente a producir para satisfacer la demanda (Thornassey, Happiette, & Castelain, 2002). Es precisamente este factor de éxito el que motiva a simular un sistema con el propósito de estudiar el escenario de *excesos* y el escenario de *faltantes*, los cuales consisten en la desviación de los pronósticos por encima y por debajo de la demanda, respectivamente, y se pueden traducir en términos de dinero, clientes y permanencia en el mercado, entre otros aspectos que se tratarán a lo largo del artículo.

En el caso puntual que se aborda, la demanda está perturbada por numerosos factores que no son estrictamente controlados y en ocasiones ni siquiera identificados (De Toni & Meneghetti, 2000); se considera utilizar *Dinámica de sistemas* por ser una herramienta que permite conocer el impacto que tienen sobre el sistema todas las relaciones involucradas, algo que, muy posiblemente, con otro tipo de ayudas no es posible identificar.

La estructura del modelo propuesto y las conclusiones que surgen de este estudio le pueden facilitar a una organización la toma de mejores decisiones respecto a la gestión de inventarios, pues se podrán conocer con anticipación los impactos que la elección de cierto sistema de pronósticos genera sobre varios elementos que hacen parte de la organización tales como el inventario de producto terminado, el inventario de seguridad, el nivel de servicio y la utilidad marginal.

II. Planteamiento del problema

Es muy común escuchar a los administradores, gerentes y analistas de logística afirmar que uno de los principales problemas a los que se deben enfrentar es la administración de los inventarios. Con frecuencia en las organizaciones locales del sector industrial o comercial se presenta el problema de *excesos* y *faltantes*.

Los excesos se presentan cuando los pronósticos están por encima de la demanda, esto fundamentalmente no genera ningún tipo de complicación al satisfacer al cliente con respecto al cumplimiento de su requerimiento. Sin embargo generan costos que muchas veces superan los beneficios obtenidos. Estos costos, tienen que ver con inventarios por exceso, mantener inventario, reasignación, obsolescencia y reducción de margen por descuento.

Los faltantes pueden presentarse cuando se realizan pronósticos que resultan estar por debajo de la demanda. Este comportamiento, además de la reducción en la satisfacción de los clientes ocasionada por una disminución en el nivel de servicio, genera también costos que pueden surgir por diferentes factores.

El problema de planeación de la demanda es fundamentalmente un problema de información de la cadena de suministro (Vidal, 2010), el cual se evidencia cuando las organizaciones fundamentadas en datos errados —o en el peor de los casos, sin una base técnica y basados en decisiones empíricas—, seleccionan un pronóstico de demanda mediante la observación superficial de los factores que la afectan y no realizan un análisis muy a fondo de lo que en realidad sucede en el entorno y cambia con el paso del tiempo.

Se considera que el camino hacia la optimización de la oferta depende de la precisión de los pronósticos de productos terminados, sin embargo no deja de ser un problema complejo a pesar de tener herramientas que reduzcan el error (Graves, Kletter, & Hetzel, 1998).

El problema estudiado se presenta cuando una empresa no produce la cantidad suficiente para satisfacer la demanda, debido a una inadecuada selección de su sistema de pronóstico y el uso de los datos históricos de ventas de la empresa, lo cual podría generar un impacto en el nivel de servicio, la participación en el mercado y costos por faltantes y excesos.

Es relevante recalcar que los costos por faltantes incluyen la pérdida de ventas de determinado ítem, la pérdida de ventas de productos complementarios, la pérdida de oportunidad debido al fortalecimiento de la competencia y además los costos ocasionados cuando la organización reacciona a la situación presentada.

Como resultado, hay una necesidad de desarrollar un modelo de simulación para determinar un sistema de pronóstico apropiado para un producto con demanda creciente y realizar una aplicación correcta de los datos históricos para así explorar el efecto de la planeación en la cadena de suministro.

III. Descripción del sistema

Una organización planifica la producción a partir de un pronóstico de demanda y posteriormente determina la cantidad de inventario de seguridad de producto terminado, con el propósito de actuar ante los efectos de la fluctuación de demanda y los *lead times*.

El nivel de ventas tiene una relación directamente proporcional con la demanda real, relación de la cual surge el nivel de servicio, que es una representación numérica del grado de satisfacción que los clientes perciben de la prestación del servicio o producto (Gil, 2007).

El nivel de servicio [NS] define la proporción de prestación del servicio (ventas/demanda). Mientras este valor sea significativamente menor a 1, se fortalece a la competencia y se incrementan los costos en la organización por pérdida de mercado y faltantes.

Por último se puede afirmar que mientras más demanda existe en una organización, más se venderá el ítem demandado y por tanto habrá más ingresos por ventas. Estos ingresos se ven afectados por los costos generados en una organización.

A pesar de tener ingresos por ventas, las organizaciones no establecen mecanismos para analizar la demanda, que en definitiva es lo que más tiene relevancia. Por lo tanto no tienen una visión clara del costo que implica tener faltantes o excesos. Teniendo en cuenta lo anterior se evidencia el descuido de la medición de la demanda; en efecto, se pierde el control y finalmente no se podrá mejorar el sistema.

IV. Modelación del sistema

La Figura 1 corresponde a la representación causal del sistema objeto de estudio. Este se encuentra representado por dos bucles de compensación. Por un lado, se aprecia el balance entre excesos y producción asociados al inventario, es decir, en la medida que se tenga una cantidad suficiente de producto, no es necesario producir para no incrementar los excesos.

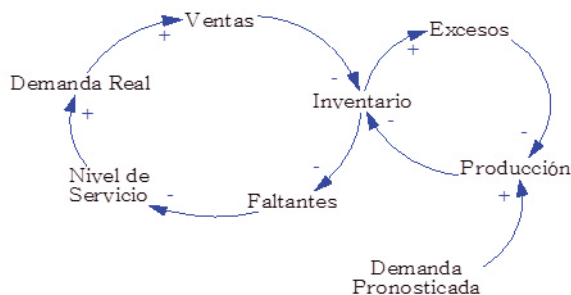


Figura 1. Diagrama causal

Por otra parte, se tiene el bucle relacionado con los faltantes y el nivel de servicio, asociados al inventario existente, pues en la medida que se tenga suficiente inventario se tendrá un elevado nivel de servicio, pues no habrá faltantes cuando se presente una solicitud por parte de los clientes. En el caso contrario, el faltante generará un efecto negativo en el nivel de servicio.

Por otra parte, las Figuras 2, 3 y 4 representan los diagramas de Forrester (1961) para los tipos de pronósticos que se estudiarán, los cuales corresponden a los métodos: *Regresión lineal simple*, *Suavización exponencial simple* y *Suavización exponencial doble*. En el próximo apartado se explicará bien como funciona cada uno de estos métodos.

1) Determinación del pronóstico

Los pronósticos proporcionan información para la toma de decisiones. El primer aspecto que se debe tener en cuenta es que los pronósticos de demanda siempre estarán errados, lo que es aceptable debido a que, por su naturaleza, intenta anticiparse a eventos futuros. La verdadera importancia radica en la disminución de ese error, para

lo que se debe recurrir a un sistema de pronóstico que se ajuste al tipo de demanda específico del conjunto de ítems.

Regresión lineal simple. Tiene como objeto estudiar cómo los cambios en una variable no aleatoria afectan a una variable aleatoria, en el caso de existir una relación funcional entre ambas variables que puede ser establecida por una expresión lineal, es decir que su representación gráfica es una línea recta. Debido a que este sistema de pronóstico fue el primer método de pronóstico propuesto en el caso estudio, se identifican los elementos de las ecuaciones de regresión lineal en donde la ecuación de la recta es calculada a partir de los veinte datos que hay disponibles, los proporciona la posibilidad de pronosticar los doce meses posteriores. El NS como variable sombra muestra que, tal como se definió, esta afecta a la demanda real.

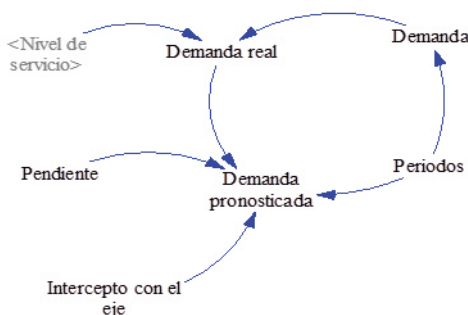


Figura 2. Diagrama de Forrester para el sistema de pronóstico de demanda - Regresión lineal simple

La suavización exponencial simple y la doble serán propuestas como nuevos sistemas de pronóstico para determinar si se controla el número de faltantes en el sistema y se minimizan los errores para disminuir el número de faltantes que tienen un mayor costo que los costos de faltantes, para que así la utilidad no se afecte drásticamente.

Suavización exponencial simple. Esta técnica se basa en la atenuación de los valores de la serie de tiempo, obteniendo su promedio de manera exponencial; es decir, los datos se ponderan dando un mayor peso a las observaciones más recientes y uno menor a las más antiguas. La Figura 3 corresponde a la modelación de este sistema de pronóstico.

Suavización exponencial doble. Consiste en realizar dos suavizaciones exponenciales, a partir de las cuales se obtendrá el valor estimado o pronóstico mediante un cálculo realizado con una expresión sencilla. La primera se aplica a los valores observados en la serie de tiempo y la segunda a la serie atenuada obtenida mediante la primera atenuación. La suavización exponencial doble, aplicada para el caso estudio, se realizó simulando este sistema de pronóstico calculando los parámetros requeridos previamente. La Figura 4 corresponde a la modelación de este sistema de pronóstico.

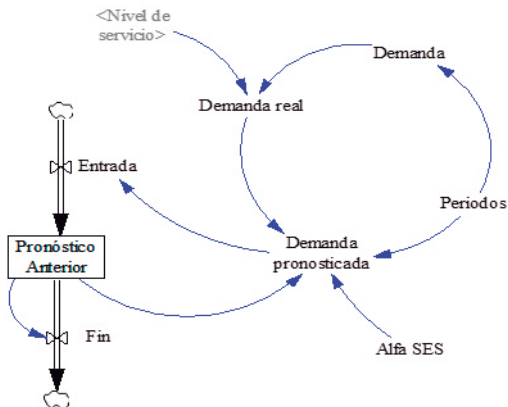


Figura 3. Diagrama de Forrester para el sistema de pronóstico de demanda – Suavización exponencial simple

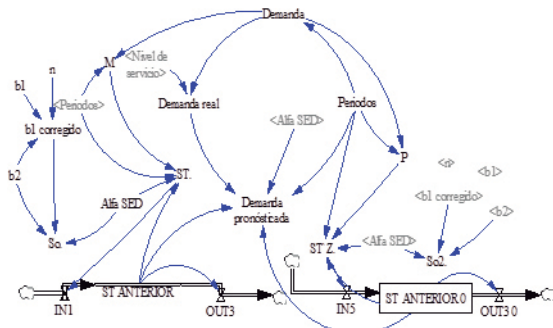


Figura 4. Diagrama de Forrester para el sistema de pronóstico de demanda – Suavización exponencial doble

2) Relaciones con el pronóstico utilizado

La Figura 5 presenta las relaciones del sistema evaluado. Se muestra el impacto de los faltantes y excesos con base en la utilidad marginal (i.e., la diferencia entre los ingresos totales por ventas y los costos de excesos y faltantes); por otro lado se presenta el componente de inventario (i.e., la producción menos las ventas, además del Stock de seguridad que en conjunto constituirán el inventario efectivo): y finalmente se considera el NS (i.e., la relación de las ventas sobre la demanda real), el que a su vez va a ir afectando el nivel de demanda de tiempos posteriores.

V. Descripción del caso estudio

El caso a evaluar para la modelación del sistema es un producto, denominado *producto X*, con una demanda de tendencia creciente (ver Figura 6).

La organización del caso estudio venderá sus productos en la medida que lo que tengan en el inventario efectivo no supere la demanda real, (de ahí el problema de faltantes y excesos), lo cual implica utilizar $SS=k\sigma_L$ de inventario de seguridad [ss], mientras la demanda real supere al inventario del producto.

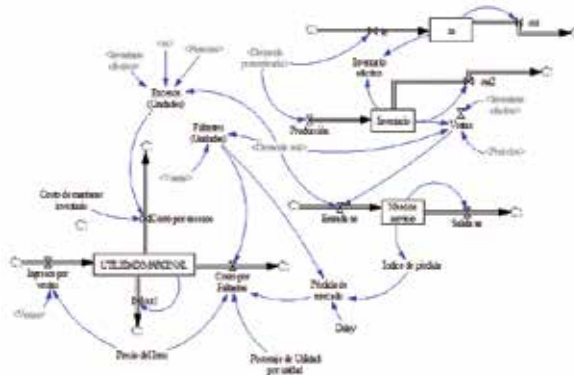


Figura 5. Diagrama de Forrester para simular el comportamiento de excesos y faltantes

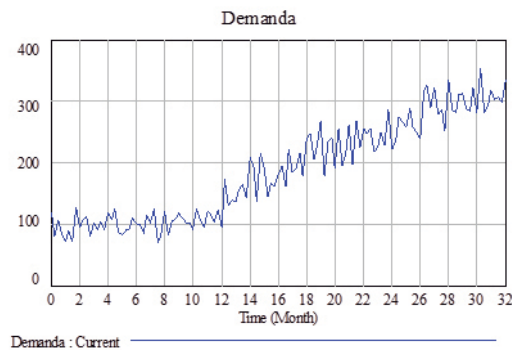


Figura 6. Gráfico de la demanda para el *producto X*

La demanda se verá afectada mientras el nivel de servicio no supere el porcentaje de aceptación; por lo tanto, si hay faltantes el nivel de servicio se equilibra al perder cierto porcentaje del mercado que demanda el producto; esto a su vez puede generar excesos porque se va a producir con respecto al pronóstico sin considerar que la demanda disminuirá, si el NS no es el adecuado. La utilidad marginal es considerada como la diferencia de los ingresos con las ventas y los costos generados por la desviación entre la demanda y lo que la empresa provee. La desviación es ocasionada por faltantes o excesos.

La organización ha definido un sistema de pronóstico de regresión lineal simple, un método de predicción apto para demandas uniformes. En este caso, sin embargo, la decisión ignora que se trata de un producto de demanda creciente. El método presenta un *Error Cuadrático Medio* [ECM] de 3671.7 y un *Error porcentual absoluto medio* [MAPE, *Mean Absolute Percentage Error*] de 19%, lo que indica que este sistema de pronóstico no es el más adecuado para el comportamiento de la demanda del ítem (es preferible un MAPE por debajo de 10% o cercano a ese valor; lo contrario indica gran proporción de error y considerable diferencia con la variable estudio).

El pronóstico de los meses siguientes se presenta en la Figura 7, que muestra cómo el crecimiento de la demanda del ítem se presentó a partir del mes 12 y que, si se produjera

de acuerdo al pronóstico calculado, se presentarían faltantes desde el momento de ejecutar la producción con respecto al pronóstico; esto se refiere a que el costo de faltantes sería la principal fuente de generación de costo para esta organización (el costo de faltantes en el sistema es considerado como perdida de ventas del producto y perdida de mercado debido al bajo NS, el cual define que mientras $NS < 95\%$, la demanda se verá reducida en un 10%. Los datos basicos proporcionados por el caso estudio se presentan en la Tabla 1.

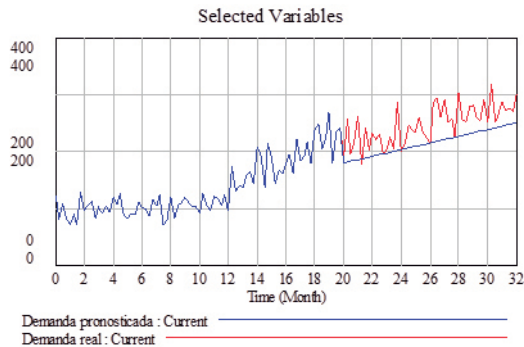


Figura 7. Gráfico de la demanda para el *producto X*

Tabla 1. Parámetros iniciales

Item	Valor
Precio del Item por unidad	\$10.000
% de Utilidad por unidad	50% de precio de Item
Costo de mantener inventario / unidad	25% de precio de Item
Stock de seguridad i	$ss=k\sigma L$
Nivel de inventario minimo permitido	95%

VI. Análisis de resultados

Para comparar el pronóstico del último año con el comportamiento real de la demanda se integraron los sistemas de la Figura 5 con los sistemas de pronóstico, para así representar el comportamiento e impacto de excesos y faltantes. A continuación se presentan los datos que permiten la comparación de estas demandas y la presencia de faltantes y excesos.

A. Regresión lineal simple [RLS]

Debido a que la linealidad de la demanda se estimó teniendo en cuenta la tendencia uniforme de los años iniciales, la ecuacion de la recta estimada con los 20 años historicos no representa la linealidad que minimiza los costos de excesos o faltantes. En la siguiente grafica se muestran las ventas equivalentes que evidencian la presencia de faltantes generados con respecto a la demanda.

La Figura 9 identifica que la presencia de faltantes afecta el nivel de servicio.

En la Figura 10 es posible ver que, desde el año 20, los faltantes se presentan frecuentemente y con altos niveles, en comparación con los excesos.

Debido a que aplicando este sistema de pronóstico predomina la presencia de faltantes en el comportamiento de la demanda de este item, las utilidades, definidas como ingresos por ventas menos los costos por exceso o faltantes, se ven afectadas por el

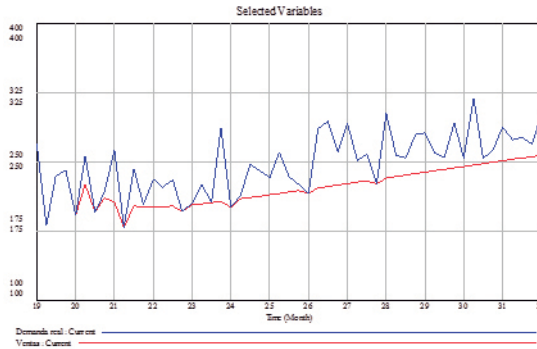


Figura 8. Demanda vs Ventas - RLS

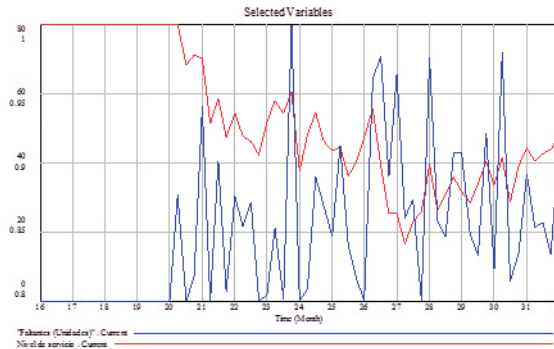


Figura 9. Faltantes vs NS - RLS

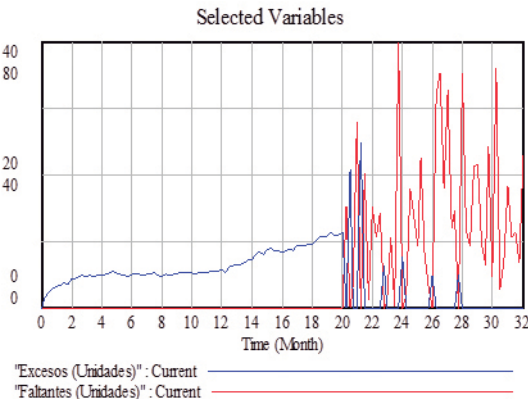


Figura 10. Excesos vs Faltantes - RLS

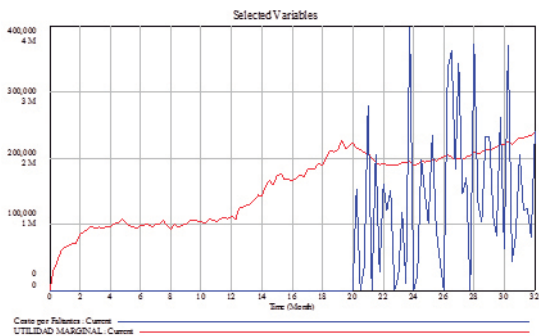


Figura 11. Costo por faltantes vs Utilidad - RLS

costo de faltantes identificados, y concluye que una reduccion o control al crecimiento de los faltantes y excesos, evidencia que la regresion lineal simple es una mala opción para pronosticar en este caso presentado.

Lo anterior recalca una caída en la utilidad marginal, con una dismunución de la pendiente y un alto nivel de faltantes. Los modelos realizados para la aplicación de los sistemas de pronóstico (i.e., Suavización exponencial simple y Suavización exponencial doble), permitirán reconocer el tipo de pronóstico se ajusta más a los requerimientos del sistema y cual de estos refleja mayor utilidad.

B. Suavizacion exponencial simple [SES]

El pronóstico calculado con este sistema muestra un ECM=4013 y un MAPE=18%, lo que refleja que aún este sistema de pronóstico no es el más adecuado para predecir el comportamiento de la demanda del ítem de estudio (ver Figura 12). Sin embargo, se evidencia que este sistema de pronóstico aporta a la disminución de faltantes en la organización, por lo que se obliga a ver el impacto en utilidades, costos de excesos y faltantes; lo que ocasiona este sistema de pronóstico es la baja en faltantes y variación de los excesos. El NS (Figura 14), presenta una menor variación porque al disminuir los faltantes la afectación de la demanda real es menor.

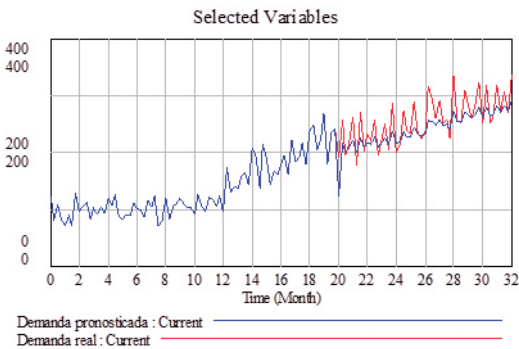


Figura 12. Demanda pronosticada vs Demanda real - SES

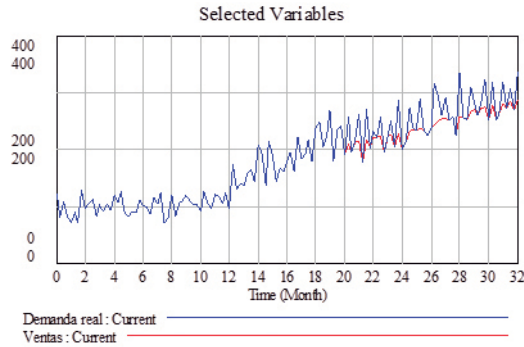


Figura 13. Demanda vs Ventas - SES

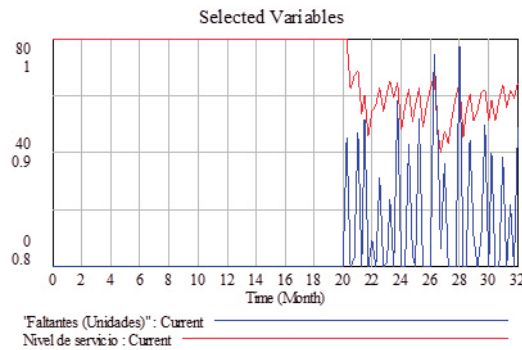


Figura 14. Faltantes vs Nivel de servicio - SES

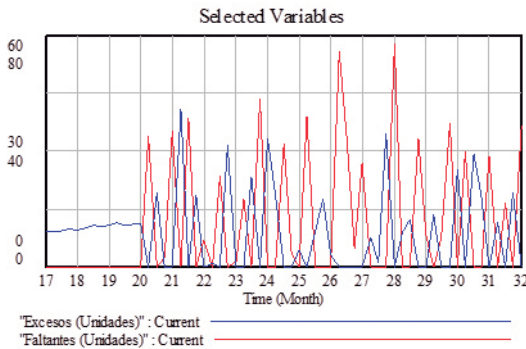


Figura 15. Excesos vs Faltantes - SES

La Figura 15 identifica el comportamiento de los excesos y los faltantes en la organización y evidencia la consistencia, que la presencia de excesos causa la ausencia de faltantes y viceversa. Por otro lado, con este método de pronóstico, la presencia de faltantes se vio disminuida y, en algunos casos, fue reemplazada por excesos.

Este sistema de pronóstico reduce los costos al generar un mayor acercamiento entre el pronóstico y la demanda; y por consiguiente aumentan las utilidades en comparación con la Regresión Lineal ya que en este caso presenta una pendiente superior. Se

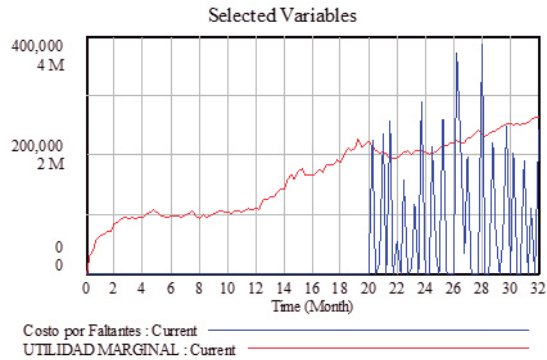


Figura 16. Costo por faltantes vs Utilidad marginal - SES

evidencia que hay una disminución en faltantes al verse un aumento en excesos que tienen un costo menor de manejo (ver Figura 16).

Aunque los costos se reducen, aun se presentan falencias que se representan en los errores calculados para determinar la aptitud del sistema de pronósticos.

C. La suavización exponencial doble [SED]

Este método consiste en realizar dos suavizaciones exponenciales y partir de ellas obtener el valor estimado o pronóstico, mediante un cálculo realizado con una expresión sencilla. La primera se aplica a los valores observados en la serie de tiempo y la segunda a la serie atenuada obtenida mediante la primera atenuación. El pronóstico con la aplicación de este método, se ilustra en la Figura 17.

La Figura 17 presenta la estimación de la demanda a partir de este método, con ECM=1338 y MAPE=11.42%. De entrada, gráficamente y con las estimaciones anteriores, se muestra que este sistema se ajusta más a la realidad, es más preciso, y por lo tanto los excesos y faltantes deberán disminuir significativamente al aproximar su demanda pronosticada, a la demanda real (Figura 18). Sin embargo se muestran valores con mayor fluctuación; posteriormente se observará la utilidad marginal para verificar su impacto. El NS, por su parte, no se ve demasiado afectado (Figura 19) ya que en muy pocas ocasiones presenta un valor inferior al aceptado.

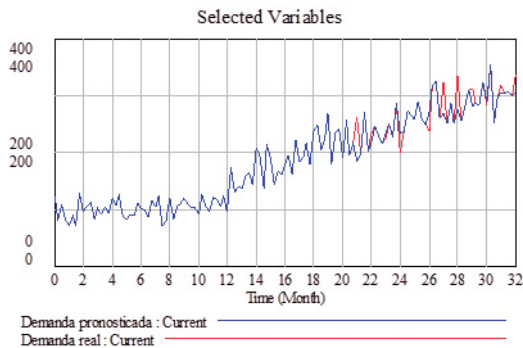


Figura 17. Demanda pronosticada vs Demanda real - SED

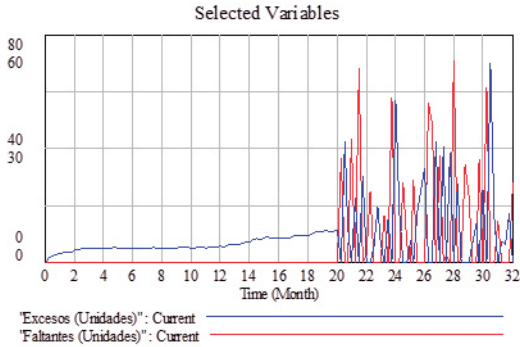


Figura 18. Excesos vs Faltantes - SED

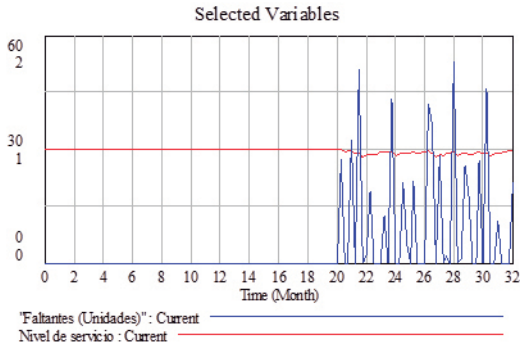


Figura 19. Faltantes vs Nivel de servicio - SED

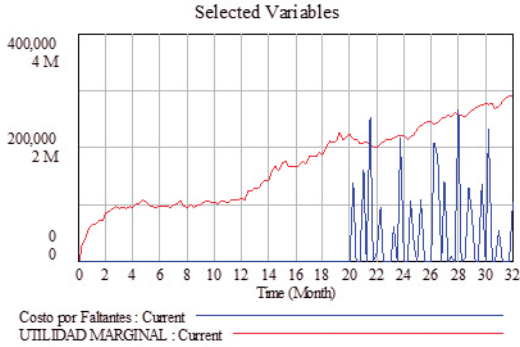


Figura 20. Utilidad Marginal vs Costo por faltantes - SED

La utilidad marginal del pronóstico presenta una evidente tendencia creciente. En comparación con los métodos anteriores, no predominan los costos por faltantes, lo permite este comportamiento natural.

VII. Discusión

Para comparar las alternativas se han tomado como criterios de decisión: las utilidades marginal, los costos asociados a la desviación entre la demanda y el pronóstico—definida

RLS

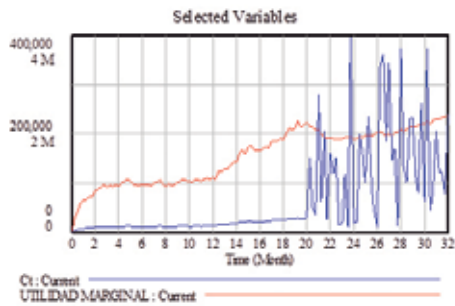


Figura 21. Utilidad marginal vs Costo total



Figura 22. Nivel de servicio

SES

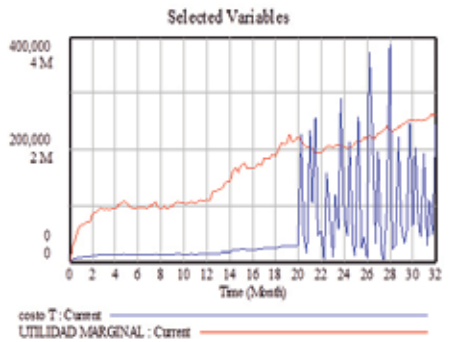


Figura 23. Utilidad marginal vs Costo total



Figura 24. Nivel de servicio

SED

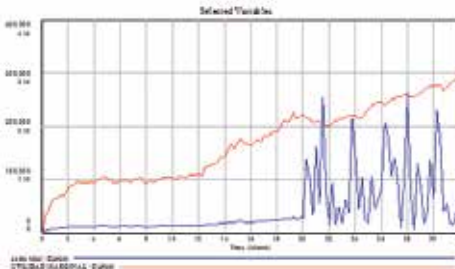


Figura 25. Utilidad marginal vs Costo total

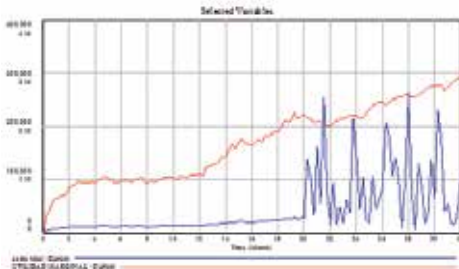


Figura 26. Nivel de servicio

como la suma de los costos por excesos y por faltantes— y el nivel de servicio. Se tienen en cuenta las gráficas arrojadas por Vensim respecto a cada una de las variables de decisión de cada uno de los sistemas de pronóstico.

La organización, en un principio, aplicaba un sistema de regresión lineal simple, teniendo en cuenta que sus datos históricos reflejaban una demanda perpetua que en el tiempo, siempre había sido así; ante un crecimiento de la demanda en el periodo 12, empiezan a verse afectados pues el crecimiento, en lugar de ser beneficioso, está perjudicando porque se presenta un problema de faltantes que repercute en pérdida de la demanda. Ante esta situación, es evidente que se deben replantear los elementos asociados al pronóstico de demanda.

El modelo de simulación presentado en este artículo demuestra el impacto de los faltantes y

excesos en la utilidad marginal y en el nivel de servicio, y permite reconocer que los indicadores tradicionales utilizados en logística no contemplan el costo de mantener, ni el costo de los faltantes, debido a que utilizan el valor absoluto de la desviación o el cuadrado de los errores medios, lo que evidencia un posible sesgo de los mismos si se desagregan los costos ya mencionados.

Según lo planteado en el presente artículo, bajo esta perspectiva se presenta como mejor sistema de pronóstico de simulación para el caso abordado la suavización exponencial doble, pues de los sistemas analizados es el que minimiza el costo total y maximiza la utilidad marginal y el nivel de Servicio.

Conclusiones

Aunque tradicionalmente se decide qué sistema de pronóstico aplicar con base en la reducción del error cuadrático medio, un menor ECM no indica que dicha tendencia se encuentra centrada, lo anterior confirma que para un sistema dinámico, el cálculo de los errores no define el mejor sistema de pronóstico, si se enfoca su selección a la reducción de los costos y aumento de las utilidades.

Para la selección del sistema de pronóstico se deben considerar los criterios de costo de mantener y costo por faltantes, utilidades y nivel de servicio, teniendo en cuenta que los costos de faltantes y excesos no tienen el mismo valor. De esta manera se debe evaluar el impacto que cada método de pronóstico genera en la organización.

Por otro lado se tiene que la suavización exponencial doble permite obtener valores estimados muy sensibles a las variaciones aleatorias de la demanda. Este sistema de pronóstico con el cálculo de errores de demanda pronosticada con respecto a la demanda real resulta ser el mejor método.

Enfocándose a criterios reales, como costos y utilidades, y conociendo que este método es sensible a las variaciones debido a la presencia de la atenuación de los datos, logra responder a la demanda real, de manera que el valor de este pronóstico sea cercano tanto para excesos, como para faltantes. De esta manera el nivel de servicio no se verá afectado, debido a la presencia de problemas de almacenamiento, donde sus costos son más económicos, que tener un alto nivel de faltantes, que a su vez genera reducción en ventas e insatisfacción de la demanda, algo que a largo plazo ocasionará pérdida de mercado. ^{S&T}

Referencias bibliográficas

- De Toni, A. & Meneghetii, A. (2000). 32,2000.
The production planning process for a network of \$m in the textile apparel industry. *International Journal of Production Economics*, 65(1), 17-
Forrester, J. (1961). *Industrial Dynamics*. Cambridge, MA: MIT
Gil, C (2007). Definición de Nivel de Servicio y Capacidad de las

- Terminales Portuarias. En *Definición de los niveles de servicio de las terminales portuarias* [Capítulo 3], (pp. 25-34). Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya. Disponible en <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/5770/6/05.pdf>
- Graves, S., Kletter, D., & Hetzel, W. (1998). A dynamic model for requirements planning with application to supply chain optimization. *Operations Research*, 46(3), 35-49
- Thornassey, S., Happiette, M., Castelain, J.M. (2002). Three complementary sales forecasting models for textile distributors. En *Systems, Man and Cybernetics, 2002 IEEE International Conference on*, [vol.6].
- Vidal, C. 2010. Fundamentos de gestión y control de Invetarios. Cali, Colombia: Universidad del Valle

Currículum vitae

Carlos Andrés Pretel Arango

Estudiante de décimo semestre de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle (Cali, Colombia). Técnico en operación y proceso de plantas industriales (SENA). Es analista de planeación de gestión de demanda de helados en Colombina S.A.

Oscar David Galvis Pérez

Estudiante de décimo semestre de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle. Practicante en el Ingenio Manuelita S.A. Miembro de *Grupo de estudios de Dinámica de Sistemas* de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle.

Laura Isabel Rendón Salazar

Ingeniera Industrial, Universidad del Valle.

Juan Carlos Osorio Gómez

Ingeniero Industrial, Especialista en Logística y Máster en Ingeniería Industrial. Es profesor titular de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle, miembro del *Grupo de Investigación en Logística y Producción* y tutor del *Grupo de estudio en dinámica de sistemas*.